



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

ULB

# Untersuchung der die Trocknung in Tiefdruck-Trockenanlagen beeinflussenden Faktoren

Eschenbach, Wolfram; Wagenbauer, K.; Fink, H. O.  
(1964)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014021>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Article

Division: 16 Department of Mechanical Engineering  
16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14021>

---

# UNTERSUCHUNG DER DIE TROCKNUNG IN TIEFDRUCK- TROCKENANLAGEN BEEIN- FLUSSENDEN FAKTOREN

MITTEILUNG AUS DEM INSTITUT FÜR  
DRUCKMASCHINEN UND DRUCKVERFAHREN  
DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE DARMSTADT

DIREKTOR:  
PROFESSOR DR. WOLFRAM ESCHENBACH

W. ESCHENBACH - K. WAGENBAUER - H. O. FINK

## STUDY OF THE FACTORS INFLUENCING THE DRYING PROCESS IN GRAVURE DRYING EQUIPMENT

### 1. Introduction

Increased printing speeds in the gravure process require a speeding-up of the drying process within the machine. This explains for the constructor's demand for drying equipment which—with the additional aid of superior auxiliaries—will reduce drying time to a minimum. Longer drying ways mean more construction and the added danger of difficulties presenting themselves in keeping good register.—These issues constitute the framework for fundamental investigations about factors influencing over the drying process. From the knowledge of the particular influences it will be possible to deduce the best solution for an optimum design of drying facilities. Yet, the drying problem is very intricate in the gravure process, since at the same time many physical, chemical, climatic and procedural factors coincide, so that the statements made can only be characteristic.

### 1. Einleitung

Die Erhöhung der Druckgeschwindigkeit im Tiefdruckprozeß verlangt eine Beschleunigung der Trocknung innerhalb der Maschine. Daraus ergibt sich für den Konstrukteur die Forderung nach Trockenanlagen, die unter Einsatz optimaler Hilfsmittel die Trockenzeit auf ein Minimum reduzieren. Verlängerte Trockenwege bringen neben erhöhtem konstruktivem Aufwand noch die Gefahr von Passerschwierigkeiten mit sich.

Dieser Problembereich bildet den Rahmen für grundlegende Untersuchungen über Faktoren, die den Trocknungsvorgang beeinflussen. Aus der Kenntnis der Einflußgrößen lassen sich Wege zu optimaler Trockenraumgestaltung ableiten. Dennoch ist das Problem der Tiefdrucktrocknung sehr komplexer Natur, weil gleichzeitig viele physikalische, chemische, klimatische und verfahrenstechnische Einflußgrößen wirksam werden, so daß nur charakteristische Aussagen möglich sind.

### 1.1 Tiefdruckverfahren

Als druckende Elemente dienen beim Tiefdruckverfahren Näpfechen, die vertieft in die Form geätzt sind. Die Tonwerte der einzelnen Bildpartien sind durch die Tiefe der Form bestimmt, weil die Farbdichte von der auf den Druckträger übertragenen Farbmenge abhängt.

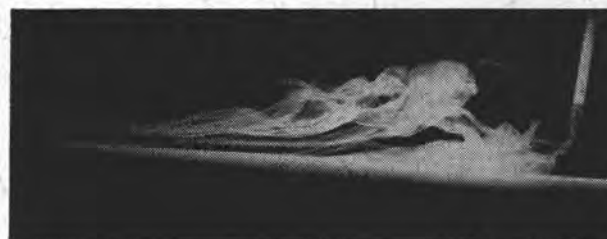
Das Verfahren verlangt ausgesprochen niedrigviskose Farben, die leicht die Form ausfüllen. Sie bestehen im wesentlichen aus den Farbpigmenten, Bindemitteln (meistens Harze) sowie den Lösungsmitteln. Durch das Lösen der Bindemittel erhält die Farbe die für das Drucken erforderliche Viskosität.

Eingefärbt wird die Form bei niedrigen bis mittleren Maschinengeschwindigkeiten durch Eintauchen in die Farbe oder über eine Einfärbwalze und bei hohen Geschwindigkeiten durch ein Spritzfarbwerk. Die überschüssige Farbe wird mittels Rakel, die durch ein oberflächengleiches Gitter von Rasterstegen gestützt wird, abgestrichen. Hierauf folgt der Druckvorgang, wobei der Druckträger von einem elastischen Presseur auf die Form gepreßt und die Farbe übertragen wird. Diese dünnflüssige Farbe muß nun innerhalb kürzester Zeit so weit getrocknet werden, daß sie den mechanischen Beanspruchungen bei der Weiterverarbeitung standhält.

### 1.2 Grundlagen der Tiefentrocknung (1), (6)

Die Farbtrocknung im Tiefdruck beruht auf der Abgabe der Lösungsmittel. Dadurch werden die Bindemittel frei und können die Farbpigmente an den Druckträger

Bild 1 Strömung über der bewegten Papierbahn



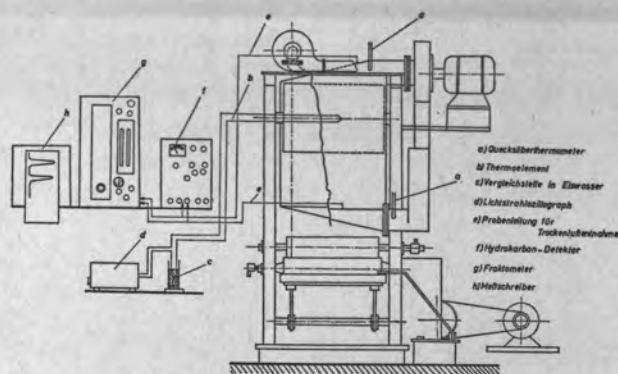


Bild 2 Frontansicht der Versuchsmaschine mit stilisiertem Meßaufbau

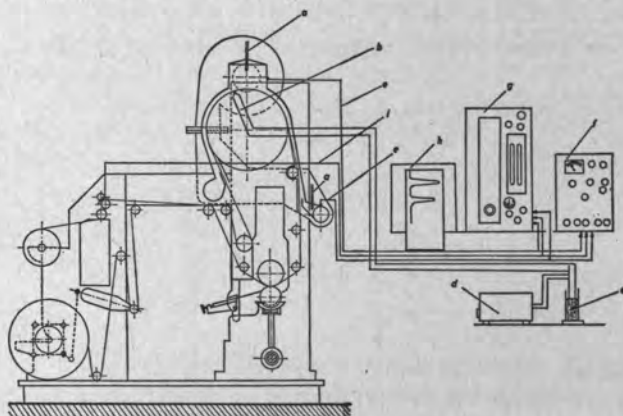


Bild 3 Seitenansicht der Versuchsmaschine mit stilisiertem Meßaufbau

a) Quecksilberthermometer, b) Thermoelement, c) Vergleichsstelle in Eiswasser, d) Lichtstrahlzyllograph, e) Probenleitung für Trockenluftaufnahme, f) Hydrocarbon-Detektor, g) Fraktometer, h) Meßschreiber, i) Probenleitung für Gleichgewichtskonzentration

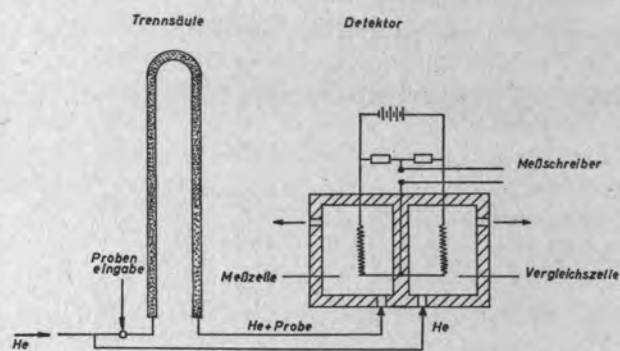


Bild 4 Arbeitsprinzip des Fraktometers (stark schematisiert)

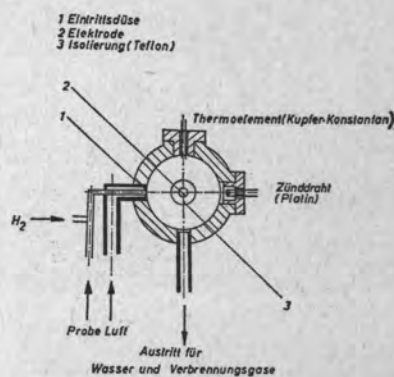


Bild 5 Meßzelle des Flammenionisationsdetektors

binden. Sieht man wegen ihrer geringen Bedeutung von Asphalten und Bitumina als Bindemittel ab, läßt sich die Tiefdrucktrocknung als reine Verdunstungstrocknung bezeichnen.

Der wichtigste Faktor für den Grad der Trocknung ist das Lösungsmittel. Seine Verdunstungsgeschwindigkeit hängt vom Dampfdruck des Lösungsmittels, der Verdunstungswärme bei Flüssigkeitstemperatur, der Temperaturdifferenz zwischen verdunstender Flüssigkeit und der darüber befindlichen Luft, der Geschwindigkeit des Luftstroms über der Verdunstungsfläche, der Wärmeleitfähigkeit der Luft sowie der Größe der Verdunstungsfläche ab (1).

Auch die Wahl der Bindemittel beeinflusst die Verdunstung der Lösungsmittel. Im allgemeinen wird infolge Dampfdruckerniedrigung beim Lösen von Harzen der Verdunstungsgrad gesenkt. Außerdem neigen die Harze dazu, bestimmte Mengen an Lösungsmitteln über lange Zeitspannen zurückzuhalten. Diese Neigung ist gewöhnlich um so stärker, je besser das Harz im Lösungsmittel lösbar ist (1).

Selbst das Pigment beeinflusst die Verdunstungsgeschwindigkeit. Mit steigender Pigmentkonzentration erniedrigt sich die Verdunstungsgeschwindigkeit ebenso wie mit geringerem spezifischem Gewicht des Pigmentes. Bei gleichem spezifischem Gewicht verdunsten Lösungsmittel in Gegenwart von kleineren Partikeln langsamer als bei großen Pigmenten (1). Wird auch die Verdunstungstrocknung im wesentlichen durch die Lösungsmittel und Zustandsgrößen an der Verdunstungsfläche bestimmt, so zeigen sich doch erhebliche Sekundäreinflüsse durch Pigment und Bindemittel.

## 2. Untersuchungsmethoden zur Bestimmung von Trocknungsvorgängen

### 2.1 Meßmethoden für die Verdunstungstrocknung

Charakteristische Meßgrößen für den Trocknungsvorgang sind die eingesetzten Lösungsmittel. Es können die von der frischbedruckten Bahn abgegebenen Lösungsmittel oder die in der Farbschicht verbliebenen Lösungsmittelreste herangezogen werden. Nachfolgend die einzelnen Methoden.

#### 2.1.1 Lösungsmittelverdunstung

Die Trocknung der Farbe auf dem Papier findet durch Lösungsmittelabgabe an die umgebende Luft statt. Mittels gaschromatographischer Erfassung (5) der abgegebenen Lösungsmittelmenge kann auf den Trocknungsgrad der Probe geschlossen werden. Es gilt

$$R = A - \int L$$

$R$  = Restlösungsmittelgehalt,  $A$  = eingebrachte Lösungsmittelmenge und  $\int L$  = abgegebene Lösungsmittelmenge. Außerdem stehen die pro Zeiteinheit an die Umgebung abgegebenen Lösungsmittel in einem bestimmten Verhältnis zum Restlösungsmittelgehalt der Probe.

Die verdunstenden Lösungsmittel müssen zur gaschromatographischen Erfassung mit der über der Probe



befindlichen Luft angesaugt werden. Dazu wird der Luft über der Probe eine konstante Strömung aufgezwungen, die nicht durch Fremdströmungen beeinflusst werden darf (1), wie z. B. durch bewegte Bogen oder Bahnen. Deshalb eignet sich diese Methode ausschließlich zur stationären Beobachtung von Trocknungsvorgängen. Es sind Untersuchungen der Rückwirkung verschiedener Lösungsmittel, Farben, Papiere etc. auf den Trocknungsprozeß möglich.

### 2.12 Beladung der Trockenluft (6)

Die Lösungsmittelverdunstung findet im wesentlichen in den Trockenanlagen statt. Somit lassen sich dort die abgegebenen Lösungsmittel am günstigsten erfassen. Bei konstanten Druckbedingungen und Trockenluftdurchsatz zeigen Beladungsänderungen Unterschiede der pro Zeiteinheit abgegebenen Lösungsmittel, d. h. Änderungen des Trocknungsgrades, an. Es gilt  $\Delta K \sim \frac{1}{\Delta R}$  mit

$K$  = Lösungsmittelkonzentration der Trockenluft und  $R$  = Restlösungsmittelgehalt der bedruckten Bahn. Der Meßwert „Trockenluftbeladung“ liefert somit eine indirekte Aussage über die Trocknungsintensität. Das Verfahren eignet sich zur Bestimmung maschinentechnischer Einflußgrößen auf den Trocknungsvorgang bei laufenden Maschinen.

### 2.13 Gleichgewichtskonzentration in der laminaren Grenzschicht

Beobachtungen an der laminaren Grenzschicht über laufende Papierbahnen zeigten sehr zähe Schichten von mindestens 10 mm Stärke, die auch durch flatternde Papierbahnen und normale Raumluftströmung nicht zerstört werden. In dieser Schicht herrscht ein Konzentrationsgleichgewicht zwischen Restlösungsmittelgehalt der Druckoberfläche sowie der darüber befindlichen Luft. Es gilt hier die Beziehung  $\Delta K \sim \Delta R$  mit  $K$  = Konzentration der laminaren Grenzschicht und  $R$  = Restlösungsmittelgehalt. Bild 1.

Die kräftige Grenzschicht erlaubt ein einfaches Absaugen der Luftproben zur gaschromatographischen Analyse. Dieses einfachste aller Meßprinzipien hat sich in umfangreichen Meßreihen bewährt. Es eignet sich zu Trocknungsprüfungen an laufenden Bahnen von Rotationsmaschinen. Vorsicht ist lediglich bei Vergleich verschiedener Versuchsvarianten geboten, weil unterschiedliche Einflüsse an der Farboberfläche auf die Hautbildung einwirken. Andererseits wird dadurch gerade die Farb-oberflächentrocknung gekennzeichnet, die entscheidend für die mechanische Weiterverarbeitung des Produktes ist.

### 2.14 Restlösungsmittelgehalt des Druckes (6)

Das durch Extraktion bedruckter Proben dargestellte Lösungsmittel (2) liefert mit der Beziehung „Restlösungsmittel pro bedruckte Fläche“ eine direkte Aussage über den Trocknungsgrad. Proben bekannten Gewichtes werden unter Zugabe von 1-n-Natronlauge aufgeschlagen. Als Extraktionsmittel, das die an den Fasern haftenden Farbreste lösen und das Restlösungs-

Bild 6 Meßstelle zur Bestimmung der Gleichgewichtskonzentration

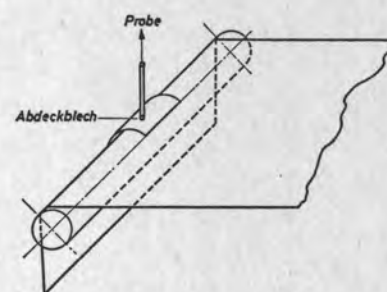
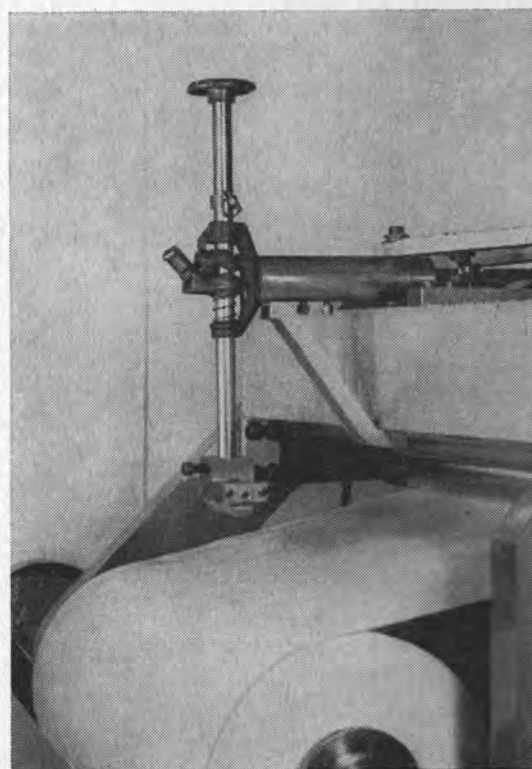


Bild 7 Strömungsteilung in der laminaren Grenzschicht über der Papierbahn

Bild 8 Stanze zur Probenentnahme aus der wieder aufgewickelten Rolle



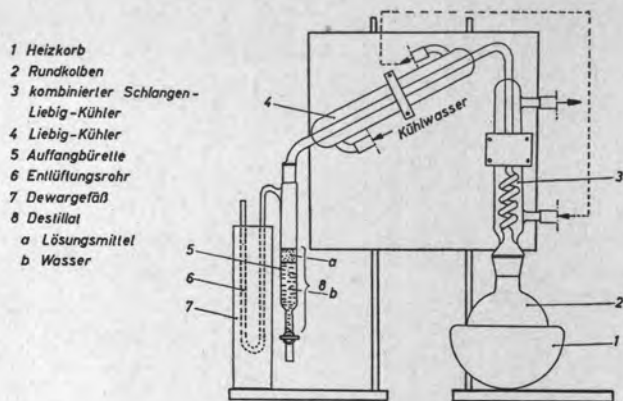


Bild 9 Koch-Destillations-Kolonne

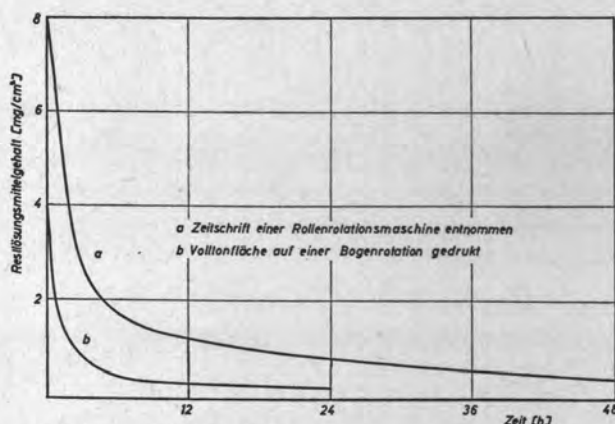
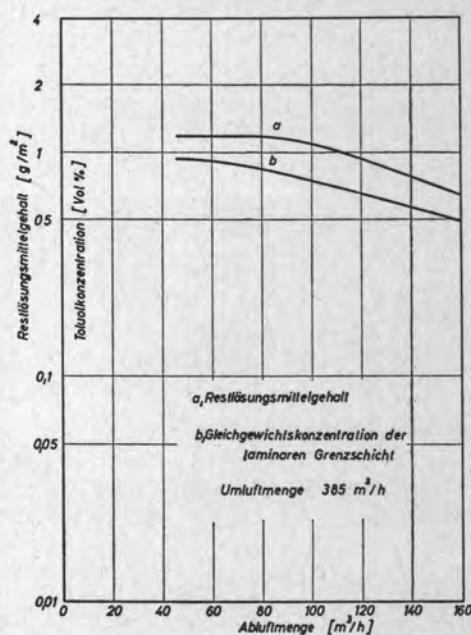


Bild 10 Trocknungsverlauf von Drucken nach Verlassen der Maschine

Bild 11 Lösungsmittelgehalt in Abhängigkeit von der Trockenluftmenge



mittel aufnehmen soll, wurde Xylol eingesetzt. Bei der Versuchsfarbe handelte es sich um reine Toluolfarbe. Beide Lösungsmittel sind sehr gut mischbar und praktisch wasserunlöslich (3). Ein Kochprozeß bewirkt die weitere Zerfaserung der Probe und vollständige Extraktion des Lösungsmittels. Diesem Prozeß schließt sich die Destillation an, bei welcher Wasser, Toluol und Xylol abgeschieden werden. Infolge der Wichteunterschiede des Wassers und der Lösungsmittel ist eine saubere Trennung möglich. Der um 28° C höhere Siedepunkt von Xylol gegenüber Toluol gewährleistet die vollständige Verdunstung des Toluols aus der Probe, wenn die Xyloldestillation abgeschlossen ist.

Diese Methode gestattet, an beliebigen Stellen einer Maschine entnommene Proben zu analysieren und absolute Aussagen über den Trocknungsgrad zu machen. Dieser Vorteil wird mit großem Aufwand erkauft und birgt die Gefahr von Fehlern infolge Lösungsmittelverlusten bei zu langer Probenlagerung in sich.

## 2.2 Versuchseinrichtungen

### 2.2.1 Versuchsmaschine

(Bild 2 und 3)

Für die Durchführung der Untersuchungen wurde die Versuchstiefdruckrotationsmaschine des Institutes, Bauart Regent der Maschinenfabrik Goebel, eingesetzt. Neben einem als Zweiwalzensystem ausgeführten Druckwerk besitzt die Maschine eine Abrollung, einen Wickelapparat sowie eine Trockenanlage. Letztere besteht aus einer mit Widerstandsstäben heizbaren Trockentrommel sowie dem Trockenluftsystem. Etwa drei Viertel der Luft zirkulieren als Umluft, während ein Viertel nach außen abgeführt wird. Die Umluft gelangt beiderseits über dem Druckwerk durch Schlitzdüsen in den Trockenraum und wird über der Trockentrommel durch die Ab- und Umluftgebläse abgesaugt. Dieses System bedingt kombinierte Gleichstrom-Gegenstrom-Trocknung. Mit Frischluft füllt sich die Trockenluft vor allem am Papieren- und -auslauf sowie durch die Undichtigkeiten der Trockenanlage auf. Ein zwischen Umluftgebläse und Eintrittsdüsen geschaltetes Heizregister gestattet, die Luft zu erwärmen.

Zur Bestimmung der maschinentechnischen Zustandsgrößen Trockenluftmenge, Trockenlufttemperatur und Trockentrommeltemperatur wurden Meßelemente in die Trockenanlage eingebaut. Mit gewöhnlichen Quecksilberthermometern wurde vor der Düse die Temperatur der erwärmten Umluft sowie über der Trockentrommel die mittlere Trockenraumtemperatur ermittelt. Zur Bestimmung der Trockentrommeltemperatur diente ein in die Trommelwand unmittelbar unter der Manteloberfläche eingelassenes Thermoelement (Ni-NiCr); der Abgriff der Thermospannung erfolgte über ein Schleifringgerät. Die umgewälzte Luftmenge (Um- und Abluft) wurde durch Meßblenden bestimmt.

### 2.2.2 Gaschromatographie (4), (5)

Zur Erfassung der Lösungsmittel wurden bei allen Untersuchungsmethoden gaschromatographische Analysengeräte eingesetzt. Es standen ein Fraktometer 116



und später ein Hydrocarbon Detektor 213 von Perkin Elmer zur Verfügung.

Das mit einem Hitzdrahtdetektor ausgestattete Fraktometer 116 wird mit einem He-Strom als Trägergas durchflossen. Dieses spült gasförmige oder im Einspritzblock verdampfte Proben durch die Trennsäulen zur Meßzelle. Diese Säulen sind mit einem festen porösen Material gefüllt, das mit einer Trennflüssigkeit imprägniert ist. Infolge unterschiedlichen Affinitätsverhaltens der einzelnen Komponenten zu dieser Trennflüssigkeit durchlaufen die Einzelphasen der Proben die Trennsäulen verschieden schnell. Dadurch wird eine Trennung in die Einzelkomponenten bewirkt. Durch geeignete Abstimmung der Säulenfüllung auf das zu analysierende Gemisch läßt sich diese Trennung weitgehend beeinflussen. — Die Einzelphasen werden mit dem Trägergas nacheinander durch den Detektor, die Meßzelle, gespült. Er besteht aus zwei Zellen, die je mit einem Hitzdraht versehen sind. Während eine Zelle von einem reinen Trägergasstrom durchflossen ist, fließt durch die andere Zelle der Helium-Proben-Strom. Zur Messung der Probenkonzentration wird die Wärmeleitung in Gasen und Dämpfen herangezogen. Bei verändertem Wärmeleitvermögen des Gases in der Meßkammer ändert sich die Wärmeabgabe des Hitzdrahtes. Diese mehr oder weniger starke Abkühlung des Hitzdrahtes hat eine entsprechende Änderung des elektrischen Widerstandes zur Folge. Weil Helium eine etwa sechs- bis zehnfache Wärmeleitfähigkeit gegenüber allen organischen Dämpfen aufweist, läßt sich durch Zusammenschalten der beiden Einzelzellen zu einer Wheatstonschen Brücke die Widerstandsänderung als Phasenmenge elektrisch messen (4). Bei unbelasteter Brücke, d. h. wenn auch durch die Meßzelle reines Helium fließt, ist das elektrische System abgeglichen. Bild 4.

Der Hydrocarbon Detektor 213 wurde speziell für Luft-Lösungsmitteldampf-Gemische entwickelt. Dieses Gerät ist kein Gaschromatograph im eigentlichen Sinne, weil es auf die Trennung in Einzelphasen verzichtet. Als Meßzelle besitzt es allerdings einen auch in Gaschromatographen üblichen Flammenionisationsdetektor. In einer mit reinem Wasserstoff gespeisten Flamme werden die Proben eingeleitet, wobei die organischen Bestandteile verbrennen. Großer Wasserstoffüberschuß in der Flamme bewirkt hohe Temperaturen und Sauerstoffmangel, wodurch ein stufenweiser Abbau der Verbrennungssubstanzen zu ungesättigten Zwischenprodukten erfolgt, die schließlich zu Kohlenstoff zerfallen, welcher ionisiert wird (4). Diese Ionen sowie Elektronen aus dem Zerfallsprozeß werden durch ein elektrisches Feld zwischen der Brenndüse und einer Mittelelektrode aufgefangen. Dieser Ionenstrom wird elektrisch verstärkt und gemessen. Bild 5.

Da der Detektor u. a. auf die Komponenten der Luft nicht anspricht, dagegen aber auf alle organischen Substanzen, die bei ihrer Verbrennung schließlich  $\text{CO}_2$  bilden (4), eignet sich der Hydrocarbon Detektor 213 zur direkten Bestimmung der Lösungsmitteldämpfe in der Trockenluft bzw. der laminaren Grenzschicht über der

bedruckten Papierbahn. Als Meßwert liefert das Gerät die Summe der vorhandenen Kohlenwasserstoffkomponenten.

Während das Fraktometer infolge der ziemlich langen Durchlaufzeit der Einzelproben diskontinuierlich arbeitet, können mit dem Hydrocarbon Detektor quasi kontinuierliche Messungen durchgeführt werden.

#### *2.23 Versuchsaufbau zur Bestimmung der Lösungsmittelverdunstung*

Zur Beurteilung des Verdunstungsverhaltens bestimmter Lösungsmittel werden diese über der bedruckten Fläche unter einer Saughaube mit gleichmäßigem Luftstrom abgesaugt. Konstante Druck- und Strömungsverhältnisse (1) sowie möglichst tangentielle Luftführung sind Vorbedingung.

#### *2.24 Versuchsaufbau zur Bestimmung der Trockenluftbeladung und Gleichgewichtskonzentration*

Über eine Membranpumpe werden die gaschromatographischen Geräte mit den über der Trockenluftpfeileintrittsdüse sowie der Absaugung der Trockenkammer entnommenen Proben gespeist. Diese Werte geben ein Maß für die mittlere Trockenluftbeladung.

Ein ähnlich einfacher Versuchsaufbau gestattet die Bestimmung der Gleichgewichtskonzentration. In der gleichen Weise wie oben werden Proben aus der laminaren Grenzschicht entnommen und dem Gaschromatographen zugeführt. Unter einem Abdeckblech, das in festem Abstand über einer Papierleitwalze montiert ist, befindet sich die Meßstelle (Absaugstelle). Bild 6.

Durch ein geeignetes Strömungsprofil teilt dieses ohne Verwirbelung die laminare Strömung, so daß an der Meßstelle stets laminare Strömung vorliegt und somit der Gleichgewichtszustand zum Restlösungsmittelgehalt erhalten bleibt. Bild 7.

Der gleichzeitige Einsatz von Fraktometer und Hydrocarbon Detektor liefert eine Vielzahl von Meßwerten. Infolge laufender Trockengradschwankungen können nur Mittelwerte angegeben werden.

#### *2.25 Extraktionsmethode (2)*

Die Extraktionsmethode arbeitet stationär. Die den Druckbogen oder der stillgesetzten Bahn entnommenen Proben werden in gasdichten Kolben gelagert. Um Lösungsmittelverluste im Zeitraum zwischen Anhalten der Bahn und dem Einbringen in die Kolben zu vermeiden, werden die Proben aus der Rolle des Wickelapparates ausgestanzt. Die Verluste in diesem festen Paket können vernachlässigt werden, zumal das Deckblatt nicht mit in den Kolben eingeführt wird. Bild 8. In der unter 2.14 beschriebenen Weise wird die Probe aufgeschlagen und das Lösungsmittel in einer kombinierten Koch-Destillations-Kolonne dargestellt. Bild 9. Die aufbereitete Probe wird in einem Rundkolben durch einen Heizkorb erhitzt. In einem darüber befindlichen Schlangen-Liebig-Kühler kondensieren die aufsteigenden Dämpfe und fließen in den Kolben zurück. Erst im

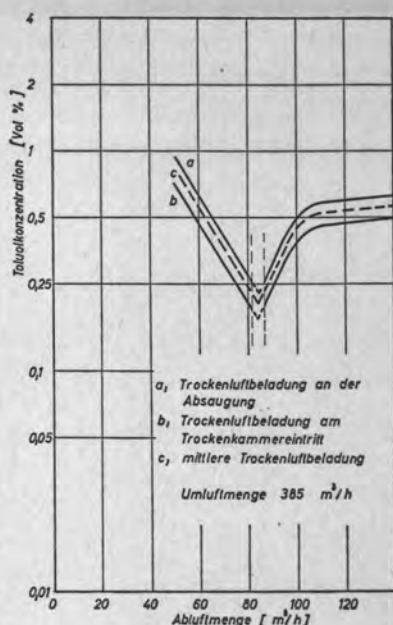


Bild 12 Trockenluftbeladung in Abhängigkeit von der Trockenluftmenge

fortgeschrittenen Stadium des Kochprozesses läuft das Kondensat in den zweiten Liebigkühler über und wird in einer Bürette aufgefangen. Ein Entlüftungsröhr gestattet den Druckausgleich. Um zu verhindern, daß hier Lösungsmittelverluste durch Verdunstung auftreten, ist dieses unterkühlt. Der Destillationsprozeß ist abgeschlossen, wenn in dem überdestillierten Wasser keine Lösungsmittelbläschen mehr sichtbar werden. Die aus der Bürette abgezogenen Lösungsmittel werden nun im Fraktometer analysiert und aus dem Verhältnis Xylol zu Toluol sowie aus der eingesetzten Probenmenge wird der Restlösungsmittelgehalt bezogen auf die Druckfläche bestimmt.

### 3. Versuchsbedingungen und Ergebnisse

#### 3.1 Abgrenzung des Versuchsprogrammes

Das Trocknungsproblem ist so komplexer Natur, daß die Erfassung aller Einflußfaktoren nach Wirkung und Größe in diesem Rahmen nicht möglich ist.

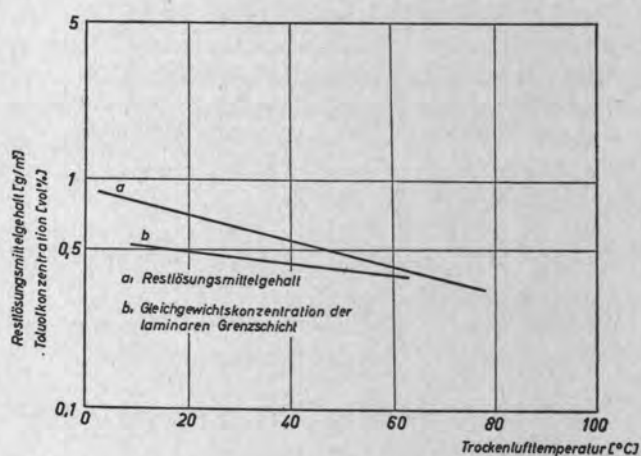


Bild 13 Restlösungsmittelgehalt in Abhängigkeit von der Trockenlufttemperatur

Beim Studium des Trocknungsvorganges wurde der Verdunstungsablauf der Lösungsmittel und ihr Trocknungsverhalten in der Farbe untersucht. Unter den maschinentechnischen Einflußgrößen, also den durch den Produktionsablauf sowie durch verfahrenstechnische Konstruktionsmerkmale bedingte Faktoren, wurden nur die der konventionellen Trocknungsmethoden berücksichtigt. Es wurden der Einfluß der Papiergeschwindigkeit, der Trockenluftmenge und -temperatur sowie mit Einschränkungen der Trockentrommelbeheizung auf den Trocknungsvorgang ermittelt.

#### 3.2 Allgemeine Versuchsbedingungen

Als Testform diente eine Volltonätzung mit einer Ätztiefe von 27–30  $\mu$  und einem Druckformat von 58,5 mal 60 cm. Es wurde satiniertes Illustrationspapier mit einem Flächengewicht von 65 g/m<sup>2</sup> bei Bahngeschwindigkeiten von 4,5 m/min für die Bestimmung des Trocknungsmechanismus bzw. 40 m/min für die Ermittlung der maschinentechnischen Einflüsse verwendet. Höhere Druckgeschwindigkeiten waren mit Rücksicht auf die verwendbare Papierrollengröße nicht sinnvoll, weil sich zu Beginn des Druckens zunächst konstante Trocknungsbedingungen und -zustände in der Trockenkammer einstellen mußten und die anschließenden Messungen über einen langen Zeitraum auszudehnen waren. Die verwendete reine Toluoltiefdruckfarbe wurde auf eine Viskosität von 18 sec Auslaufzeit (mit Frikmarbecher gemessen) verdünnt. Der durchschnittliche Umluftanteil der bewegten Trockenluftmenge betrug 385 m<sup>3</sup>/h bei etwa 120 m<sup>3</sup>/h Lüfterleistung. Die Raumtemperatur wurde auf  $22 \pm 1,5^\circ \text{C}$  gehalten.

#### 3.3 Meßergebnisse

##### 3.3.1 Trocknungsvorgang

Zum Studium der Lösungsmittelverdunstung direkt nach erfolgtem Druck wurden reine Lösungsmittel auf der Versuchsmaschine verdrukt und ihre abgegebenen Dämpfe gemäß 2.23 analysiert.

Zu Beginn der Trocknung zeigte sich eine hohe Lösungsmittelkonzentration im Dampf-Luft-Gemisch, die dann rasch abnimmt.

Die Anfangskonzentration sowie die Steilheit des Konzentrationsabfalles ist bei schnell verdunstenden Lösungsmitteln größer als bei langsam trocknenden. Es zeigte sich, daß Lösungsmittel mit niedrigerem Siedepunkt nicht schneller verdunsten müssen als solche mit hohem Siedepunkt. Eine solche Gesetzmäßigkeit gilt nur innerhalb gleicher chemischer Gruppen. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Aussage von Voet (1).

Bei Verwendung druckfertiger Tiefdruckfarben mit unterschiedlichen Lösungsmittelgemischen zeigten sich relative Trockenzeitverschiebungen der Einzelkomponenten, die nicht im direktem Verhältnis zu ihrem Lösungsmittelanteil stehen. Dies bekräftigt den Hinweis von Voet (1) über die Wechselwirkung des Lösungsmittels zum Pigment und Bindemittel.

Schließlich konnte mittels Extraktion gezeigt werden, daß Lösungsmittelreste noch über mehrere Tage in der



Farbschicht festgehalten werden, ehe die Farbe absolut trocken ist. Bild 10.

### 3.32 Maschinentechnische Einflußgrößen (6)

Das Trocknungsergebnis wird wesentlich durch die umgewälzte Luftmenge, die Trockentemperatur sowie die Druckgeschwindigkeit beeinflusst. Sekundäreffekte wie Papierschumpfungen durch Erwärmung bleiben im Rahmen dieser Untersuchungen unberücksichtigt.

#### 3.321 Trockenluftmenge

Durch Drosselung der Abluftmenge und damit der Frischluftzufuhr konnte bei konstanter Umluft der Trockenkammerdurchsatz variiert werden. Bild 11.

Dieses Diagramm zeigt den Restlösungsmittelgehalt bzw. die Gleichgewichtskonzentration als Funktion der umgewälzten Luftmenge. Es zeigt sich, daß erst ab einer gewissen Frischluftmenge eine merkliche Trocknungswirkung festzustellen ist. Der Trocknungsgrad nimmt von diesem Punkt an den Verlauf entsprechend einer Funktion  $R \sim e^{-\alpha Q}$ .  $R$  = Restlösungsmittelgehalt,  $Q = Q_f/Q_{um}$  (Frischluft-/umgewälzte Luftmenge),  $\alpha$  = spez. Einflußgröße.

Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Trockenluftanalyse. Bild 12.

Bis zur kritischen Luftmenge, bei welcher die Erniedrigung des Restlösungsmittelgehaltes einsetzt, wirkt sich die erhöhte Frischluftzufuhr konzentrationserniedrigend auf die Trockenluft aus. Im Bereich stärkerer Luftumwälzung steigt trotz höheren Frischluftangebotes die Beladung infolge der intensiveren Verdunstungstrocknung stark an. Demnach ist für die Trocknungswirkung der Luft nicht nur das Konzentrationsgefälle zwischen der Trockenluft und der Grenzschichtkonzentration, sondern auch der Luftdurchsatz bzw. die Strömungsgeschwindigkeit entscheidend, weil sich entsprechend Bernoulli und Kontinuitätsgleichung der Druck der Luft entsprechend  $\Delta p \sim (\Delta w)^2 \sim (\Delta Q)^2$  ändert. Diese Druckerniedrigung macht sich erst bei höherem Luftdurchsatz durch die Trockenanlage bemerkbar, weil die Strömungsgeschwindigkeit als quadratisches Glied eingeht. Technisch interessant ist nur der Bereich höheren Luftdurchsatzes. Es zeigte sich bei der eingesetzten Trockenanlage, daß bei einer 10%igen Erhöhung des Luftdurchsatzes von 500 auf 550 m<sup>3</sup>/h der Restlösungsmittelgehalt um etwa 35 % sinkt bei gleichzeitiger Zunahme der Trockenkammerbeladung um etwa 18,5%. Bei unbeheizter Trockenanlage stellte sich eine mittlere Trockenkammertemperatur von 26° C ein.

#### 3.322 Trockenlufttemperatur

Bei Verwendung vorgewärmter Trockenluft erfolgt die Wärmeübertragung durch Konvektion. Die mit der Trockenluft zugeführte Energie wird vornehmlich der frisch bedruckten Oberfläche zugeführt, so daß sie hier hauptsächlich als Verdunstungswärme für die Lösungsmittel aufgebraucht wird und nur eine geringe Tiefenwirkung (Kapillarwasserverdunstung) zur Folge hat. In Bild 13 wird ihr Einfluß auf die Trocknung deutlich. Bei sonst konstanten Trocknungsbedingungen sinkt der

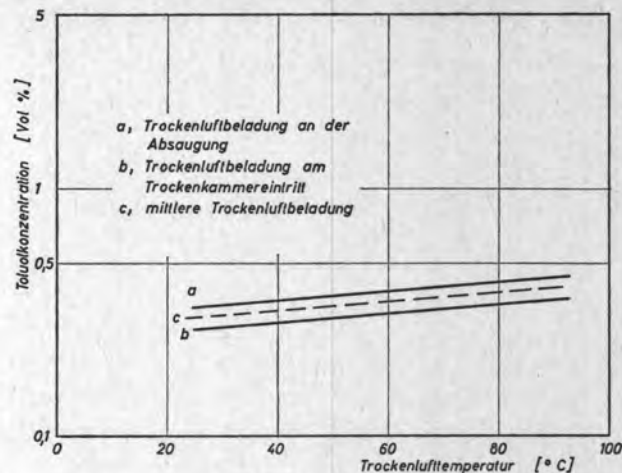


Bild 14 Trockenluftbeladung in Abhängigkeit von der Trockenlufttemperatur

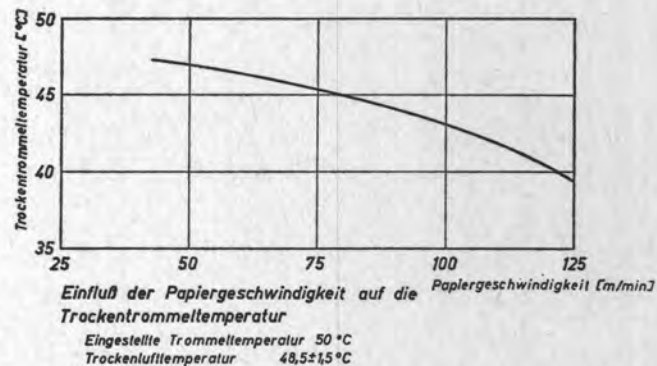


Bild 15 Einfluß der Papiergeschwindigkeit auf die Trommeltemperatur

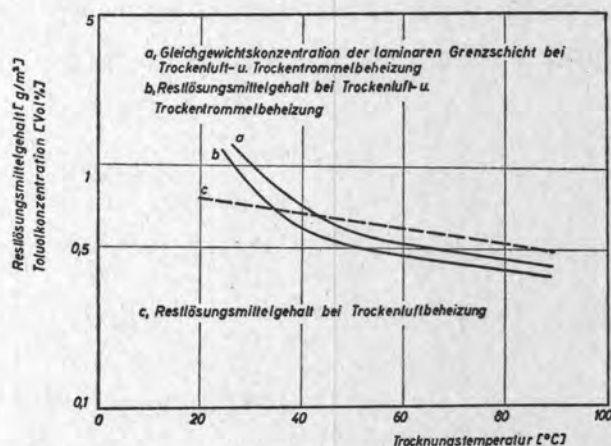


Bild 16 Lösungsmittelgehalt in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur



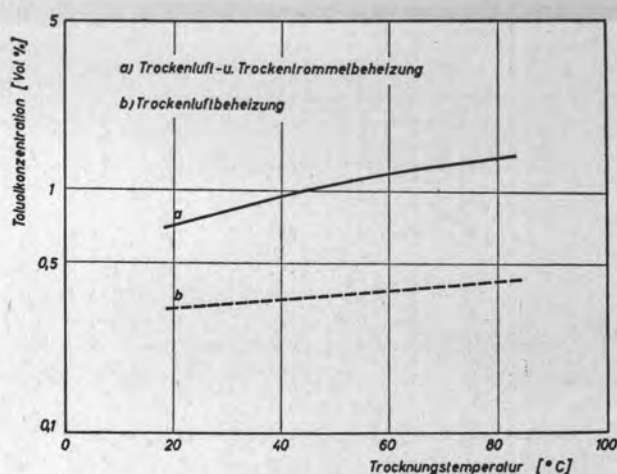


Bild 17 Trockenluftbeladung in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur

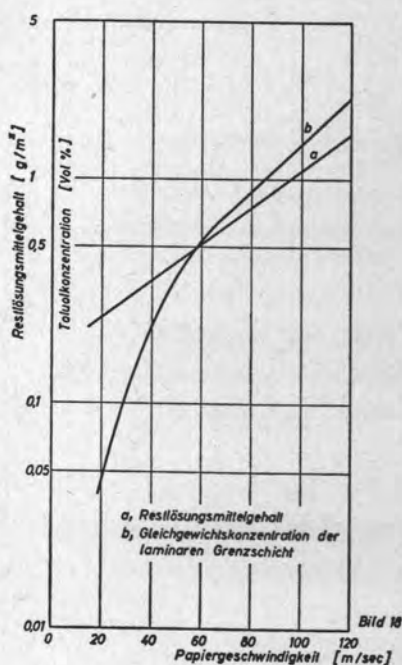
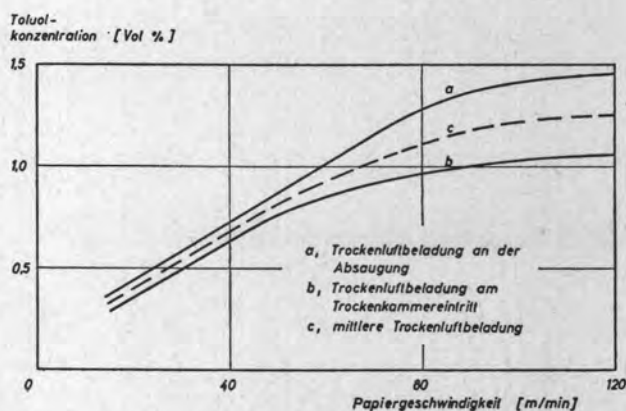


Bild 18 Lösungsmittelgehalt in Abhängigkeit von der Papiergeschwindigkeit

Bild 19 Trockenluftbeladung in Abhängigkeit von der Papiergeschwindigkeit



Restlösungsmittelgehalt entsprechend einer Exponentialfunktion  $R \sim e^{-\beta T}$  mit  $R$  = Restlösungsmittelgehalt,  $T$  = Trockenlufttemperatur,  $\beta$  = spez. Trocknungsbeiwert. Umgekehrt steigt die Trockenkammerbeladung entsprechend  $B \sim e^{\beta' T}$  mit  $B$  = Trockenluftbeladung,  $\beta'$  = spez. Beiwert. Bild 14.

Bei Temperaturerhöhung von 20° C auf 40°, 60°, 80° C konnten Erniedrigungen des Restlösungsmittelgehaltes um 11,5%, 22 % bzw. 32% festgestellt werden. Die Trockenkammerbeladung nahm entsprechend um 9,8%, 22,5% und 32% zu, d. h. sie steht in einem direkten Verhältnis zur Trockengradzunahme. In der Zuführung erwärmter Trockenluft liegt somit eine erhebliche Trockenreserve.

### 3.323 Trockentrommeltemperatur

Die Trockenwirkung der Trockentrommel beruht auf der Wärmeleitung durch den Papierquerschnitt. Nachteilig ist die Erwärmung des Papieres, ehe die Wärmewirkung an der bedruckten Schicht wirksam wird. Andererseits wird eine bessere Trocknung vom Grund der Farbschicht herauf erzielt. Da sich zwischen Trommeloberfläche und Papier noch ein dünnes Luftpolster ausbildet, ist ein unmittelbarer Kontakt zur Trommel nicht gegeben. Eine direkte Bestimmung des Trommeltemperatureinflusses war nicht möglich. Bei Papierlauf waren die Wärmeabfuhr durch das Papier sowie die zusätzlichen Verluste an die umgebende unbeheizte Trockenluft so hoch, daß die eingestellten Trommeltemperaturen während der für die Messungen benötigten Mindestzeit nicht auch nur annähernd aufrechterhalten werden konnten. Vielmehr zeigte es sich, daß ganz erhebliche Heizleistungen erforderlich sind, um durch den alleinigen Einsatz einer Kontaktheizung die Trocknung zu beeinflussen. Dagegen sind indirekte Aussagen bei „gestützter“ Trommelheizung durch vorgewärmte Trockenluft möglich. Hier entfällt der Energieverlust an die Trockenluft, und die Bahn wird vor dem Kontakt mit der Trockentrommel vorgewärmt.

Bild 15 verdeutlicht die enormen Energieverluste durch den Papierlauf trotz Luftvorwärmung, doch konnten diese mittleren Temperaturen gehalten werden.

Die in Bild 16 wiedergegebenen Versuchsergebnisse wurden bei einem Temperaturgleichgewicht von Trockenluft und Trockentrommel gewonnen. Bis zu Temperaturen von etwa 50° C ist eine erhebliche Trockengradzunahme gegenüber reiner Luftbeheizung festzustellen. Bei höheren Temperaturen ist keine relative Steigerung der Trocknung durch die Trommeltemperatur mehr nachweisbar, weil die Trocknungskurve dann zur Kurve reiner Lufttrocknung parallel verläuft. Während die Luftbeheizung bei einer Temperaturerhöhung von 30° C auf 50° C eine Erniedrigung des Restlösungsmittelgehaltes um 13,5 % bewirkt, stehen dem bei kombinierter Luft-Trommelbeheizung 46 % gegenüber. Demnach erweist sich die Trockentrommelbeheizung im Bereich niedriger bis mittlerer Temperaturen als sehr wirkungsvoll. Eine Steigerung der Trommeltemperatur erscheint wenig sinnvoll. Ein zur Trocknung reziprokes Verhalten zeigt die Lösungsmittelbeladung der Trockenluft. Bild 17.

### 3.324 Einfluß der Papiergeschwindigkeit

Steigende Druckgeschwindigkeiten stellen erhöhte Anforderungen an die Trockenanlagen von Tiefdruckmaschinen. Die bei konstanten Druck- und Trocknungsbedingungen ermittelten Trocknungs- und Beladungskurven sind in Bild 18 und Bild 19 wiedergegeben. Der Restlösungsmittelgehalt der Bahn steigt nach einer e-Funktion  $R \sim e^{\gamma n}$  mit

$R$  = Restlösungsmittelgehalt (mg/m<sup>2</sup>)

$n$  = Papiergeschwindigkeit (m/min)

$\gamma$  = spez. Einflußgröße

Eine Papiergeschwindigkeitserhöhung von 20 m/min auf 40, 80 und 120 m/min bewirkte eine Zunahme des Restlösungsmittelgehaltes um 47, 210 bzw. 580%. Diese Zahlen geben ein eindrucksvolles Bild davon, daß bei Schnellläufern außerordentlich gute Trockenanlagen erforderlich sind. Die Beladung nimmt linear zu. Im Bereich hoher Konzentrationen flacht ihr Verlauf ab.

### 4. Beurteilung der Ergebnisse

Infolge laufender Trocknungsschwankungen mußten die Ergebnisse aus einer Vielzahl von Einzelmessungen ermittelt werden. Diese Mittelwertskurven geben einen Einblick in die Wirkung der einzelnen Einflußgrößen. Dennoch sind mit den gefundenen Werten nur relative Aussagen möglich.

Aus der Analyse des Trocknungsvorganges wird die komplexe Natur der Trocknung im Tiefdruck deutlich. Nur die Erfassung sämtlicher Parameter der beteiligten Faktoren läßt Voraussagen zu. Die Einflüsse der Trockenanlage werden durch den Trockenluftdurchsatz sowie die Trockentemperaturen charakterisiert. Es zeigt sich, daß für die Festlegung der Trockenluftmenge nur ein bestimmter Bereich technisch interessant ist. Durch ausreichenden Luftdurchsatz ist eine Verbesserung der Trocknungswirkung möglich. Während sich die Trocknungswirkung der Luftbeheizung über den gesamten Temperaturbereich begünstigend auswirkt, ist dieser Einfluß von der Trockentrommel nur auf einen niedrigen bis mittleren Temperaturbereich begrenzt. Andererseits wird die Anwendbarkeit von Wärme durch die thermische Rückwirkung auf die Papiereigenschaften eingeengt.

Der mit der Geschwindigkeit sprunghaft steigende Restlösungsmittelgehalt im bedruckten Papier zeigt die außerordentlichen Anforderungen an die Trockenanlagen schnellaufender Maschinen. Um den Trockenweg in erträglichen Grenzen zu halten, sind wirksame Trocknungshilfsmittel wie Wärmezufuhr und ausreichende Luftmenge erforderlich. Dabei ist auf hinreichende Frischluftzufuhr zu achten, damit bei der sehr hohen Trockenluftbeladung noch ein ausreichendes Konzentrationsgefälle zwischen Bedruckfläche und Trockenluft gewährleistet ist.

### 5. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden unter Einsatz gaschromatographischer Meßmethoden grundlegende Untersuchungen über die Tiefdrucktrocknung durchgeführt. An Hand der Verdunstung von Lösungs-

mitteln wurde der Trocknungsablauf studiert. Zur Bestimmung des Restlösungsmittelgehaltes der Proben wurde dieses durch Extraktion dargestellt. Außerdem konnte nachgewiesen werden, daß die zähe laminare Grenzschicht über der laufenden Papierbahn im Konzentrationsgleichgewicht zum Restlösungsmittelgehalt der bedruckten Bahn steht. Schließlich gibt die Trockenluftbeladung in Rotationsmaschinen Aufschluß über die abgegebene Lösungsmittelmenge.

Es wurde gezeigt, daß die Siedepunkte der Lösungsmittel nur bei chemisch gleichen Gruppen Voraussagen über die Trocknungsgeschwindigkeit erlauben. Ebenso beeinflußt die Farbzusammensetzung die Verdunstungsgeschwindigkeit. Die Trockenlufttemperatur beschleunigt die Trocknung erheblich. Großer Luftdurchsatz begünstigt die Trocknung in der Trockenanlage stark, während im Bereich niedrigen Luftdurchsatzes keine Rückwirkung auf die Trocknung festzustellen ist. Durch Kontaktheizung können bei niedrigen bis mittleren Trockentrommeltemperaturen günstigere Trocknungsergebnisse erzielt werden, während weitere Steigerung der Trommeltemperaturen keine Beschleunigung des Trocknungsablaufes zur Folge hat.

Mit steigenden Druckgeschwindigkeiten werden hohe Anforderungen an die Konstruktion von Trockenanlagen gestellt, weil der Restlösungsmittelgehalt sowie die Trockenluftbeladung mit der Geschwindigkeit stark zunehmen.

### 6. Schlußwort

Die Untersuchungen wurden von der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. finanziell unterstützt. Einige Diplomarbeiten, die im Rahmen dieses Themas durchgeführt wurden, konnten mit verwendet werden. An dieser Stelle sei allen gedankt, die in irgendeiner Form zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, insbesondere den Mitarbeitern des Instituts.

### 7. Literatur

W. H. Westphal, *Physikalisches Wörterbuch*, Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1952.  
H. Römpp, *Chemie Lexikon* Bd. 1-3, Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Kosmos-Verlag Stuttgart, 1962.  
O. Krischer, *Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik*, Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1956.

- (1) A. Voet, *Ink and Paper in the Printing Process*, Interscience Publishers New York—London 1952
- (2) A. A. Tjurin, *Die Rotationsmaschine* Bd. IV, Isskusstvo, Moskau 1954.
- (3) W. Eschenbach, *Progress report on the ink drying process of rotogravure presses*, 6. International Conference of Printing Research Institutes 1961, Helsingö
- (4) A. J. M. Keulemans, *Gaschromatographie*, Verlag Chemie, Weinheim/Bergstr. 1959
- (5) E. Krell, *Handbuch der Laboratoriumstechnik*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1958
- (6) J. D'Ans und E. Lax, *Taschenbuch für Chemiker und Physiker*, Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1949
- (7) R. Kaiser, *Gaschromatographie in der Gasphase I—III*, Bibliographisches Institut Mannheim 1960/62